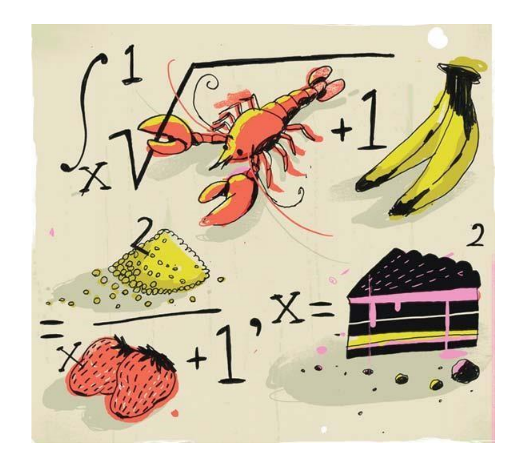
LYCEE FRANCO COSTARICIEN

La cuisine moléculaire



Problématique : Comment la cuisine moléculaire profite-t-elle des procédés physico-chimiques pour transformer la cuisine traditionnelle de manière innovante ?

Elèves : María Fernanda Santana, Camila Glock Acuña

Section : Première Scientifique

Professeur : Florent Quiquerez

Sommaire

I. Introduction 3

II. Développement 3

1. Histoire 3

2. Procédés physico-chimiques mis en jeu 4

a) Sphérification 4

b) Sphérification inverse 5

i. Influence du temps passé dans le bain d'alginate 5

ii. Influence du pH 6

iii. Influence de la quantité d'alginate de sodium 8

iv. Mesures de viscosité 9

v. Influence de la quantité de lactate de calcium 11

vi. Bilan 13

c) L'Émulsion : 13

i. L'effet d'un émulsifiant 16

d) Les mousses 17

i. Rôle d'un émulsifiant 18

ii. Effet du tensioactif 18

iii.. Effet des différents paramètres 19

III. Conclusion 20

IV. Annexes 21

i.. Annexe 1 : Interview d'un chef 21

ii. Annexe 2 : Tableau sur la composition, atouts et contraintes des produits 22

iii. Annexe 3 : Additifs alimentaires 22

iv. Annexe 4 : Schéma d'une protéine d'ovalbumine. 23

V. Bibliographie et sitographie 24

I. Introduction

Depuis quelques années le terme de "nouvelle cuisine" ou de "cuisine moléculaire" a commencé à se populariser. Certains ne savent pas vraiment ce que c'est, d'autres manient déjà cet art avec précision.

La "gastronomie moléculaire" est une science qui étudie les réactions physicochimiques de la transformation des aliments et les exploite afin de créer des plats d'une incroyable créativité, tout en mettant nos 5 sens au travail, dans le but d'éprouver une expérience culinaire très différente que celle qui nous est offerte par la cuisine traditionnelle. Dans ce rapport, nous avons l'intention de dévoiler les secrets de ce nouveau type de cuisine et les procédés physicochimiques qui les régissent

Nous nous interrogerons sur comment la cuisine moléculaire profite des procédés physicochimiques pour transformer la cuisine traditionnelle de manière innovante. Après un bref historique, nous présenterons les procédés mis en jeu lors de la mise en œuvre de la cuisine moléculaire. D'une part, nous présenterons les phénomènes physiques intervenant dans l'élaboration de sphères, d'émulsions et de mousses. D'autre part, nous vérifierons l'influence de divers paramètres physico-chimiques sur ces systèmes complexes. Passons maintenant à notre développement.

II. Développement

1. Histoire

La gastronomie moléculaire est la science qui étudie les phénomènes et réactions qui ont lieu lors des transformations culinaires tout en utilisant des procédés innovants, de nouveaux outils et ingrédients afin de créer un plat plus attrayant tout en éveillant les différents sens de l'Homme. Elle avait comme but initiale d'étudier toutes les réactions physiques d'un procédé afin de pouvoir les comprendre et les appliquer à d'autres ingrédients. Aujourd'hui la gastronomie moléculaire s'est étendue à l'utilisation de produits, dits « additifs alimentaires », découverts récemment comme les gélifiants, les épaississants ou les tensioactifs[1]. La gastronomie moléculaire est, par définition, « une nouvelle pratique de la biologie avec des méthodes physiques et chimiques ».



C'est vers la fin du XXème siècle que, le physicien anglais Nicholas Kurti et le physicochimiste français Hervé This inventèrent le terme de la « gastronomie moléculaire et physique». Ce type de cuisine introduit donc la composante physique et chimique dans la cuisine traditionnelle. Ce type de cuisine est l'objet de nombreuses critiques et de recherches afin d'en connaître les principes l'influence dans les pratiques alimentaires de la population mondiale.

[1] Un tensioactif est une substance modifiant la tension superficielle d'une interface

Nous avons décidé de contacter un chef pour qu'il puisse nous parler de ce type de cuisine de son point de vue et de son expérience avec celle-ci. C'est le chef canadien Ismael Osorio, chef de « Molecule-R Flavors » (voir annexe 1). Il nous présenté en général ce type de cuisine, quelles études il faut suivre pour pratiquer la Voici une image d'Hervé This, à gauche, et Nicholas Kurti, à droite gastronomie moléculaire et comment il est arrivé à s'intéresser à cette dernière.

Passons maintenant à une petite explication des processus physiques utilisés lors de la création d'un plat en cuisine moléculaire.

2. Procédés physico-chimiques mis en jeu

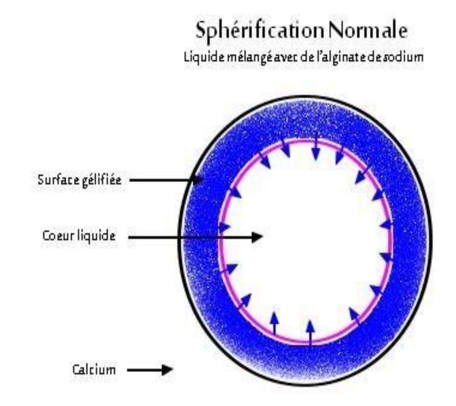
a) Sphérification

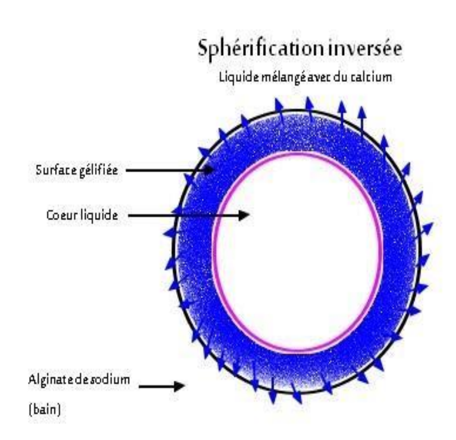
La sphérification, l'une des techniques les plus employées dans la cuisine moléculaire, a été inventée par Ferran Adrià en 2003. Elle permet de donner à une solution liquide la forme d'une sphère dont l'intérieur reste liquide. Il faut utiliser un additif gélifiant comme par exemple l'alginate de sodium, celui-ci prend la forme d'un petit sac qui emprisonne la solution liquide. Il y a deux types de sphérification : basique et inverse. Un exemple sera présenté dans les réalisations expérimentales.

Pour la sphérification basique, on mélange une solution avec de l'alginate de sodium. Ensuite on plonge cette solution dans un bain de calcium. Dans ce procédé, la gélification se produit de l'extérieur vers l'intérieur c'est pourquoi si on attend longtemps le gel devient plus gros et jusqu'à devenir solide.

La sphérification inverse est l'opposé de la sphérification basique. On mélange la solution avec du lactate de calcium et on le passe par un bain d'alginate de sodium. Dans ce cas, la gélification se fait aussi à l'inverse donc il est possible de conserver la sphère plus de temps, pourtant au bout de trois heures la sphère devient complètement solide

<u>Pourquoi se forme-t-il des sphères ?</u>





Lors du procédé de sphérification, il se forme toujours une sphère, même si le moule qu'on utilise possède une forme différente, parce que c'est ce qui demande la plus faible quantité d'énergie et en plus c'est la plus petite surface pour un volume donné. C'est-à-dire, tout simplement que la sphère c'est la forme avec le moins de surface possible. On démontre facilement par le calcul que la surface d'une sphère est plus petite que celle d'un cube.

b) Sphérification inverse

I. Principe: Un mélange congelé d'eau (105mL) avec du lactate de calcium qui est trempée dans un bain d'alginate de sodium.

II. Différents paramètres expérimentaux (en nous basant sur les indications du fabricant) :

Temps (min)	Masse d'alginate de Sodium (g)	Masse de lactate de Calcium (g)	pH
30	2	0.7	3.5

i. Influence du temps passé dans le bain d'alginate

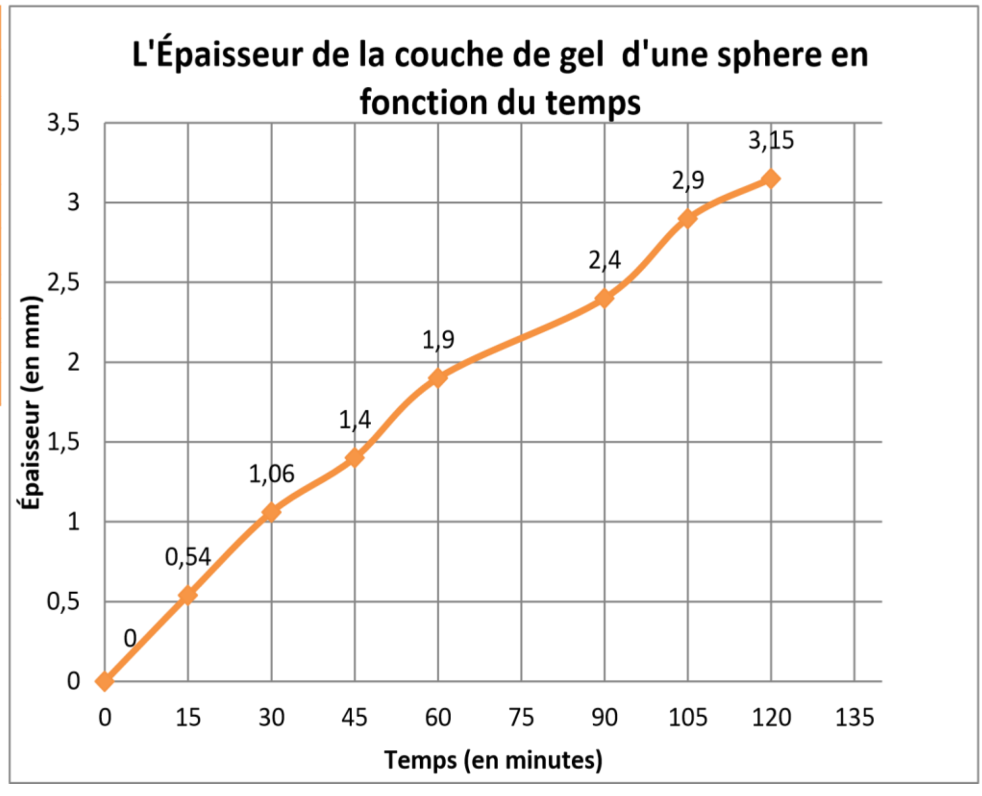
Nous allons étudier l'influence du temps passé dans le bain d'alginate sur l'épaisseur de la couche de gel d'une sphère. Afin de mesurer ce paramètre, nous avons fixé les paramètres suivants : 0.7 g de lactate de calcium, 2g l'alginate de sodium et un PH de 4.5
Les mesures ont été prises toutes les quinze minutes avec un micromètre (en mm)

Paramètres expérimentaux:

Temps	Masse d'alginate de Sodium (g)	Masse de lactate de Calcium (g)	pH
Variable	2	0.7	4.5

Résultats des expériences :

Temps	Epaisseur
0	0
15	0.54
30	1.06
45	1.4
60	1.9
90	2.4
105	2.9
120	3.15



On a modélisé cette courbe sur Regressi et trouve l'équation suivante : $Epaisseur = a * temps$
Avec a = $2{,}77.10^{-5}$ $mm.min^{-1}$ qui correspond a la vitesse de croissance de la couche de gel. On remarque que cette vitesse est constante.

L'épaisseur de la couche de gel formée varie donc de façon linéaire avec le temps. Si la sphère est trempée dans le bain d'alginate, l'épaisseur de sa couche de gel va grossir progressivement jusqu'à devenir une sphère complétement gélifiée. Cette réaction est stoppée si on sort la sphère du bain.

ii. Influence du pH

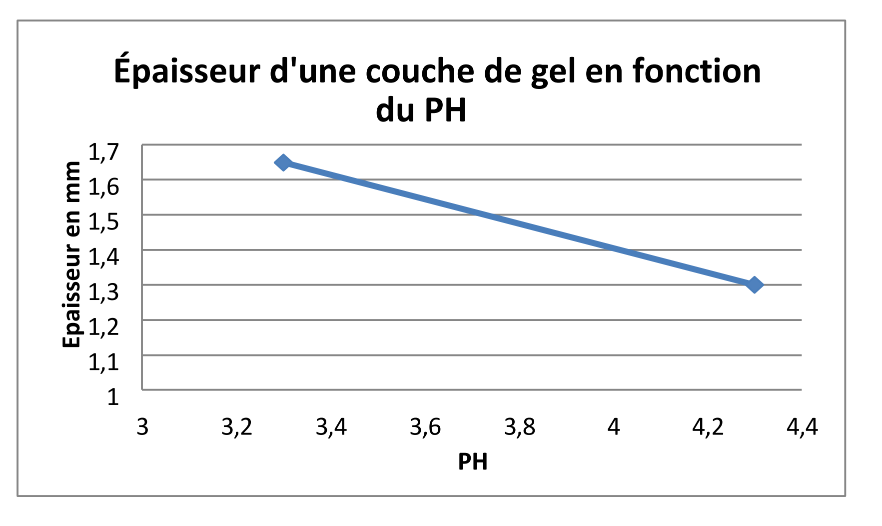
Nous allons observer l'influence du pH sur l'épaisseur de la couche de gel voire même son influence sur formation de la sphère. Dans cette expérience, les paramètres qui ont été fixé sont : le lactate de calcium (0.7g), alginate de sodium (2g) et le temps c'est-à-dire que toutes les mesures ont été prises au bout de 30 minutes. Nous avons mesuré les différents ph avec un pH-mètre et ensuite nous les avons différenciés par des différents couleurs (rouge, jaune, bleu et vert) Au bout de 30 minutes, nous avons observé s'il y avait une formation pour pouvoir mesurer (avec un micromètre) l'épaisseur de la couche de gel.

Paramètres expérimentaux :

Temps (min)	Masse d'alginate de Sodium (g)	Masse de lactate de Calcium (g)	pH
30	2g	0.7	Variable

Résultats des expériences :

Couleur	PH	Épaisseur
Rouge	3.3	1.65
Jaune	4.3	1.30
Bleu	5.30	Pas formé
Vert	6.8	Pas formé



Dans le domaine correspondant à la formation des sphères, on trouve que l'épaisseur varie en fonction du pH selon $Epaisseur = -0{,}35 * pH + 2{,}8$

Dans la sphérification inverse, on observe que plus la solution est acide, plus la couche de gel devient épaisse. Alors que si la solution est très basique, il n'y a pas de formation de sphère. On observe que l'acidité de la solution semble être un facteur cinétique puisqu'il détermine d'une part s'il y a une formation ou pas, d'autre part l'épaisseur de la couche de gel formée.



On observe une formation de gel pour toutes les solutions mais il y a formation de sphère que pour la sphère rouge (pH = 3,30) et pour la sphère jaune (pH = 4,30)



Pour toutes les expériences, nous avons pu mesurer l'épaisseur des couches des différentes sphères à l'aide d'un micromètre comme nous pouvons observer dans l'image ci-dessus.

iii. Influence de la quantité d'alginate de sodium

Nous allons étudier l'influence de l'alginate de sodium (additif gélifiant) sur la formation de la sphère. Pour cette expérience, nous avons fixé les paramètres suivants : une masse de 0.7 g de lactate de calcium, un ph de 3.3 et le temps (30 minutes).

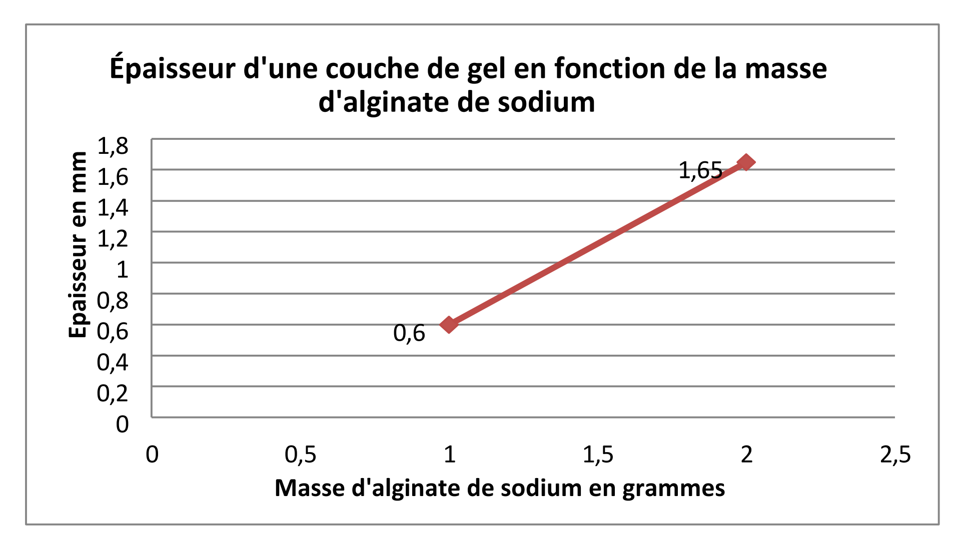
Le paramètre que nous allons mesurer est l'alginate c'est pourquoi on l'a fait varier avec des différentes quantités de cet additif. Ensuite, s'il y avait une formation de sphère, l'épaisseur de la couche était mesurée avec un micromètre (en mm).

Paramètres expérimentaux :

Temps (min)	Masse d'alginate de Sodium (g)	Masse de lactate de Calcium (g)	pH
30	Variable	0.7	3.3

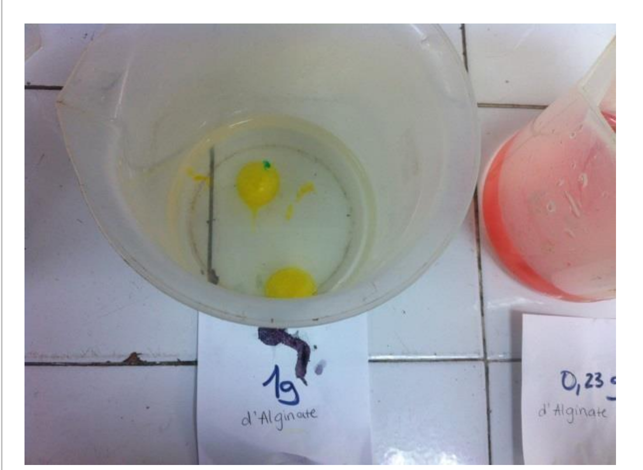
Résultats des expériences :

Masse (en grammes)	**Couleur**	**Épaisseur**
0.23	Rouge	Pas formé
1	Jaune	0.60
2	Rouge (expérience prédecente)	1.65
5	Vert	Pas formé
10	Bleu	Pas formé
20	Noir	Pas formé



Apres modélisation de la courbe obtenue, on observe la relation suivante : $Epaisseur = 0{,}78 * Masse$
Dans le domaine de masse où la réaction fonctionne, l'épaisseur de la couche de gel augmente en fonction de la masse d'alginate ajoutée, jusqu'à une certaine limite.

On observe que la formation de la sphère ne se produit que pour deux valeurs de masse d'alginate de sodium : 1 g et 2 g. Il ne se forme pas une sphère si la masse d'alginate est très faible et non plus si elle est très important. On peut donc dire que la préparation d'une sphère est un équilibre entre la solution de lactate et alginate puisque l'épaisseur de la couche est bien formée que si on respecte certaines les quantités de réactifs.

	
Les sphères se sont formées dans la solution contenant 1g d'alginate	Les sphères ne se sont pas formées dans la solution contenant 20g d'alginate

iv. Mesures de viscosité

Comme nous l'avions dit précédemment, l'alginate à des propriétés gélifiantes. C'est pour cette raison que nous avons décidé d'étudier la viscosité de celui-ci lorsqu'en sont diluées différentes quantités dans 450ml d'eau, à l'aide des logiciels « Regavi » et « Regressi ».



On lâche une bille en acier dans des différentes éprouvettes contenant des solutions d'alginate de sodium de concentration variable.

Nous avons calculé la viscosité d'après différents forces :

- Le poids de la bille :

  P= m.g= Ꝓ bille . Vbille. g

  m= masse de la bille
  V= volume de la bille
  Ꝓ= masse volumique de la bille

- La poussée d'Archimède FA :

  F_A= Ꝓliquide. Vbille. g

- Force de frottement visqueuse $\vec{F}$f :, donnée par la formule de Stokes :

  F_f = 6π.r. η. v

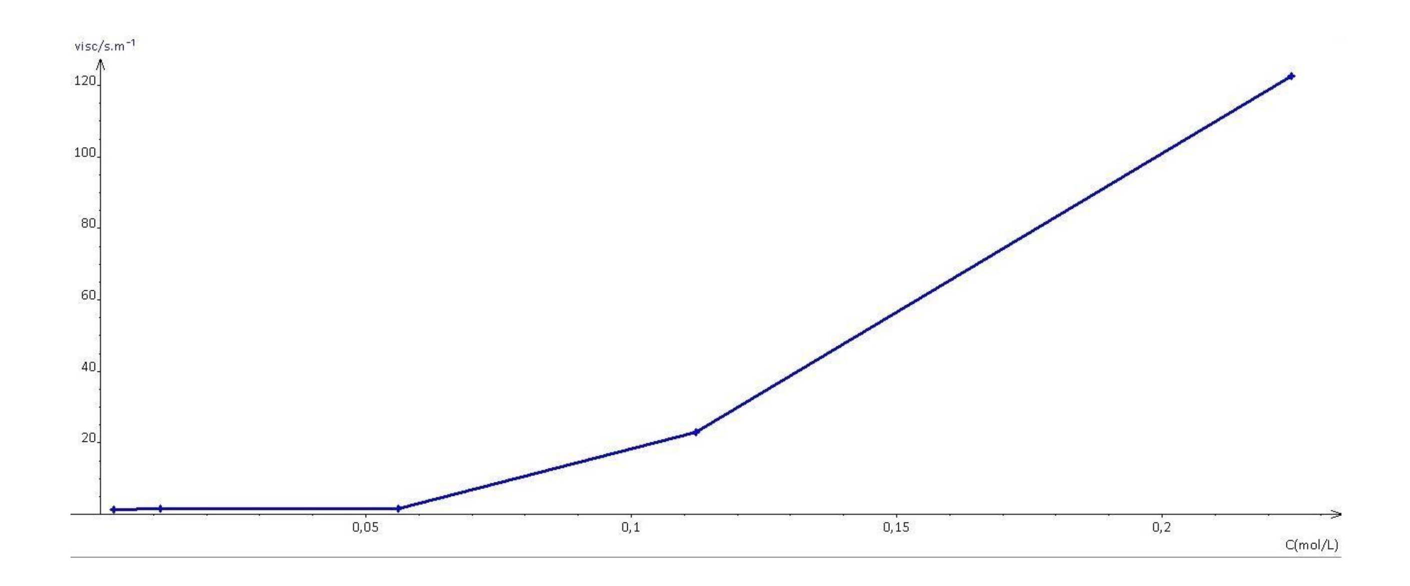
  r= rayon de la bille v= vitesse de la chute constante η= viscosité dynamique du fluide

On a donc la formule de la viscosité dynamique:

$$\eta = \frac{(\rho_{bille} - \rho_{fluide}) \cdot V_{bille} \cdot g}{6\pi \cdot r \cdot v}$$

Résultats :

i	m	v	C	visc
	g	m/s	mol/L	s.m⁻¹
0	0,2300	0,7200	0,00258	1,278
1	1,000	0,6200	0,01122	1,484
2	5,000	0,5600	0,05609	1,643
3	10,00	0,0400	0,1122	23,00
4	20,00	0,0075	0,2244	122,7



On observe bien que plus la concentration en alginate est élevée plus la viscosité est élevée. Il semblerait d'après l'allure de la courbe que la viscosité soit proportionnelle au carré de la concentration. Ainsi, $visc = 2{,}39.\,10^3 * C^2$. Si on double la concentration, on multiplie la viscosité par 4. On comprend plus facilement que si la concentration d'alginate devient trop élevée, la viscosité va être trop importante, ce qui va empêcher la bonne diffusion des réactifs dans le milieu réactionnel et peut expliquer le fait que les sphères ne se forment pas à partir d'une masse d'alginate de 2,0 g.

v. Influence de la quantité de lactate de calcium

Nous allons observer l'influence de la quantité de lactate de calcium sur la formation des sphères. Le paramètre que nous allons étudier est le lactate, alors nous avons fixé les autres paramètres comme la quantité d'alginate de sodium (2g), un ph de 3,3 et le temps (30 minutes)

Nous avons mis des différents couleurs pour différencier les solutions et nous avons mesuré la couche de gel avec un micromètre (en mm), au cas où, il y avait une formation de sphère.

Paramètres expérimentaux :

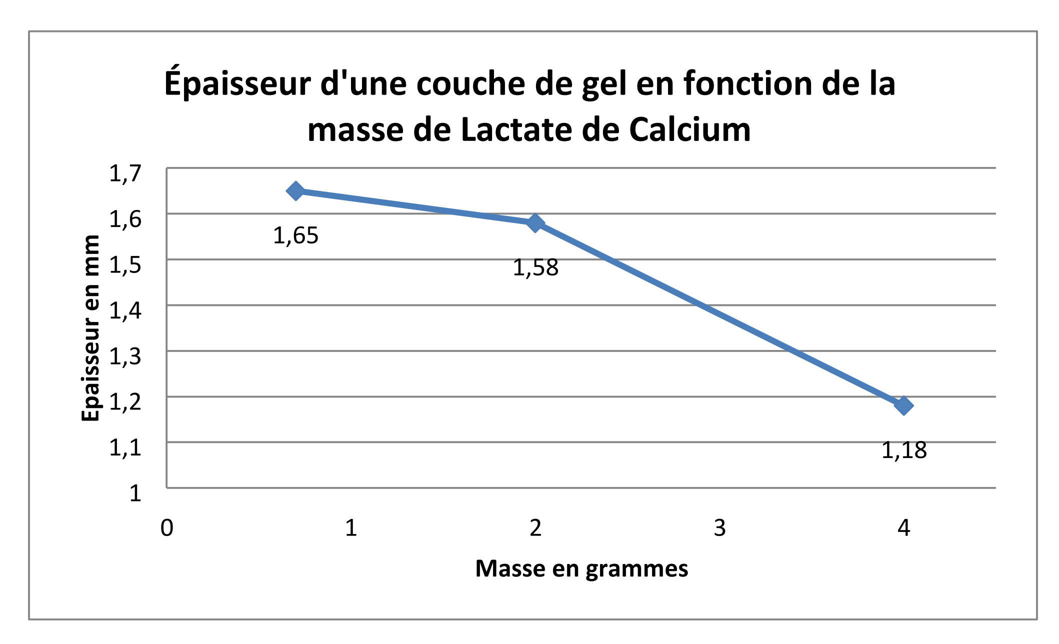
Temps (min)	Masse d'alginate de Sodium (g)	Masse de lactate de Calcium (g)	pH
30	2g	Variable	3.3

Résultats des expériences :

Couleur	Masse (en grammes)	Épaisseur (mm)
Bleu	0.06	Pas formé
Vert	0.2	Pas formé
Jaune	0.4	Pas formé
Rouge (expérience précedente)	0.7	1.65
Rouge	2	1.58
Noir	4	1.18



Voici notre préparation. Nous avions utilisé différentes couleurs afin de bien repérer à quelle concentration de lactate correspondait chacune.



En modélisant cette courbe sur Regressi, on obtient l'équation suivante :

$$Epaisseur = -0,031 * m^2 + 1{,}68$$

On observe que l'épaisseur de la couche de gel se comporte de deux manières différentes autour d'une même valeur : 0.7 g puisque c'est la quantité préconisée par le fabricant. Si la masse de lactate est inférieure à 0.7 g alors, il n'y a pas formation de gel. Par contre, si elle est supérieure à 0.7 g il y a formation de gel mais en moindres proportions. On peut donc conclure qu'augmenter la quantité de lactate ne forme pas une couche plus épaisse de gel.

D'après les expériences de l'alginate de sodium et du lactate de calcium, on peut donc conclure qu'il y a un équilibre très fragile entre les quantités de ces deux réactifs pour la formation d'une sphère avec une couche de gel optimale. L'image suivante nous montre bien que certaines sphères ne se sont pas formées, il y aurait ainsi nécessité d'une quantité minimum de lactate de calcium pour que la sphérification ait lieu.

Les sphères bleue, verte et jaune avec une quantité de lactate de 0.06 g ; 0.2 g et 0.4 g respectivement ne se sont pas formées. La sphère rouge avec 2.0 g et celle noire avec 4.0 g se sont formées.



vi. Bilan

- L'épaisseur de la couche de la sphère, augmente de manière constante (ou linéaire) au cours du temps, jusqu'à obtenir une sphère complétement gélifiée (au bout de deux heures)
- L'épaisseur de la couche de gel ne se forme pas pour un pH supérieur à 5.3 (d'après nos observations). Le pH idéal de la solution est de 3,3. Nous n'avons pas essayé avec un pH inférieur à celui-ci
- La sphère n'est pas formée pour une quantité très faible ou très importante d'alginate car il y a u équilibre entre les deux réactifs qu'il faut respecter. Nous avons vu que la formation de sphère était possible que pour les quantités de 1g et 2g d'alginate dans 450 mL d'eau.
- Plus la concentration en alginate est élevée plus la viscosité est élevée. On peut donc dire que la viscosité de la solution d'alginate varie en fonction du carré de la concentration (en mol/L). Une viscosité trop élevée peut entraver la formation des sphères.
- Si la masse de lactate est inférieure à 0.7 g alors, il n'y a pas formation de gel. Par contre, si elle est supérieure à 0.7 g il y a formation de gel mais en moindres proportions. Si celui-ci est en excès on n'obtient pas une couche plus épaisse de gel.

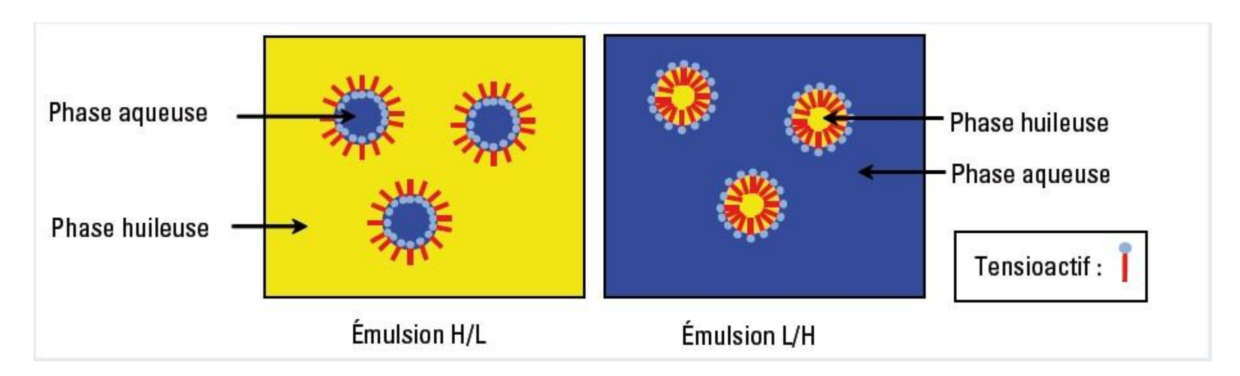
c) L'Émulsion :

L'émulsion est, par définition, la dispersion d'au moins deux liquides non miscibles, ou même des gaz ou des solides, dont l'un est dispersé dans l'autre donnant un système plus ou moins stable, comme par exemple l'eau et l'huile (ou matière grasse en général). Afin d'obtenir une solution homogène, c'est-à-dire que les deux phases ne peuvent pas être distinguées, on utilise souvent un tensioactif. Ce dernier est une

Phase continue \ Phase dispersée	Gaz	Liquide	Solide
Gaz	gaz	aérosol	aérosol solide
Liquide	mousse liquide	émulsion	suspension solide
Solide	mousse liquide	gel	suspension solide

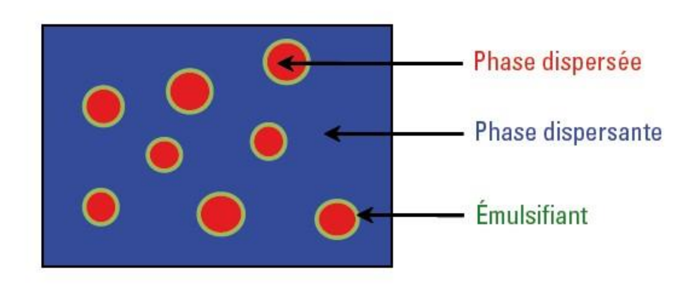
petite molécule amphiphile [2] qui peut faire le rôle d'émulsifiant, moussant, solubilisant ou détergent. Dans notre cas, nous nous intéresserons donc aux émulsifiants.

Lorsque l'on parle d'une émulsion de petites gouttes d'eau dans de l'huile, on parle d'une émulsion E/H ou H/L (Hydrophile/Lipophile). De même, si l'on parle d'une émulsion d'huile dans l'eau, nous parlerons d'une émulsion H/E ou L/H (Lipophile/Hydrophile).



Voici les deux types d'émulsion simples

Un autre cas d'émulsion (le cas étudié) est lorsque l'on émulsifie deux liquides grâce à une action mécanique (celle du mixer dans notre cas) ou un émulsifiant, la lécithine de soja dans notre cas. C'est l'émulsifiant choisi et la proportion des deux phases qui déterminent le type d'émulsion.



Représentation d'une émulsion avec émulsifiant

Dans le cas d'une émulsion à agitation mécanique, bien que l'agitation manuelle serve bien, l'agitation mécanique permet d'obtenir une émulsion à durée de vie beaucoup plus importante. Aussi, ce type d'agitation permet une meilleure homogénéisation des deux liquides en question. L'agent émulsifiant, permet lui aussi, de donner à l'émulsion une durée de vie plus longue, même après l'agitation mécanique. C'est ce que nous essayerons de montrer avec notre expérience

Son rôle est donc de stabiliser le système dispersé de l'émulsion et éviter la dégradation de celle-ci. Un exemple de cela est l´émulsion de l'eau (phase hydrophile) et l'huile (phase lipophile), en ajoutant de la lécithine de soja (un tensioactif) composé de deux parties (lipophile et hydrophile) qui permettent la bonne liaison des deux liquides non miscibles mentionnés précédemment.

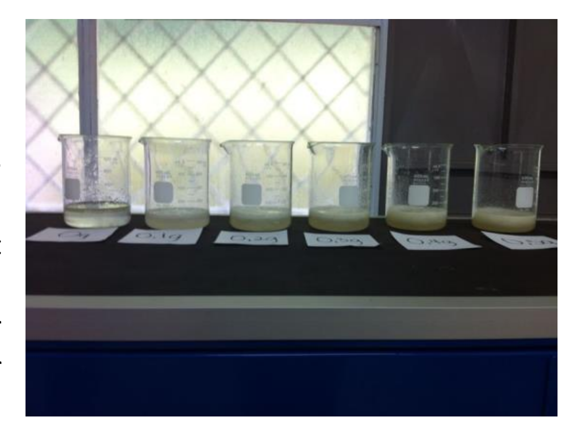
[2] Amphiphile: molécule qui possède à la fois un groupe hydrophile et un groupe hydrophobe.

Nous avons donc décidé d'étudier l'influence de la quantité de lécithine de soja sur l'obtention d'un mélange homogène entre l'huile et l'eau dans 100 g de solution :

Paramètres :

Eau (pourcentage massique)	Huile (pourcentage massique)	Lécithine (pourcentage massique)	Résultats
80%	20%	0%	Solution hétérogène
79,9%	20%	0,1%	Solution hétérogène
79,8%	20%	0,2%	Solution hétérogène
79,7%	20%	0,3%	Solution hétérogène
79,6%	20%	0,4%	Solution hétérogène
79,5%	20%	0,5%	Solution homogène
79%	20%	1%	Solution homogène
78%	20%	2%	Solution homogène
76%	20%	4%	Solution homogène

+ Agitation mécanique pendant 30 secondes

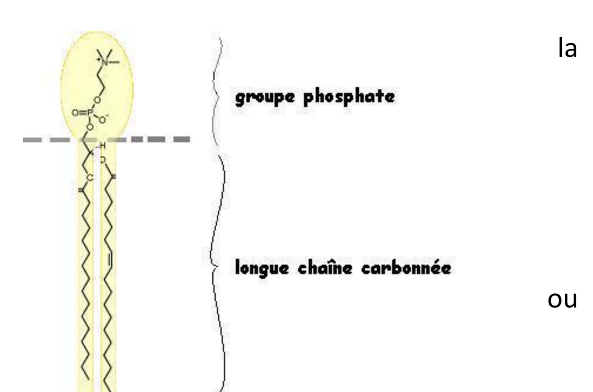


Pour la première solution (qui n'a pas d'émulsifiant), après l'agitation, on obtient bien un mélange hétérogène entre deux liquides non miscibles. La séparation se fait de manière immédiate après l'agitation. Lorsque la proportion de lécithine est inférieure à 0,5% en masse, on obtient également un mélange hétérogène, mais la phase organique semble laiteuse, comme si l'émulsifiant était en défaut pour pouvoir intégrer à l'émulsion tout le volume d'eau. Par

contre, pour toutes les autres expériences on obtient bien un mélange homogène, sans distinction entre les deux phases. La quantité suffisante de lécithine a été atteinte pour homogénéiser toute la solution.

Cela est dû grâce aux propriétés lipophiles et hydrophiles de la molécule de lécithine comme le montre le schéma ci-contre.

Les groupes phosphate et choline de la molécule permettent à celle-ci de se lier aux molécules d'eau (H_2O) : c'est la partie hydrophile de la molécule. D'autre part, la longue chaîne d'acides gras lui permet de se relier avec n'importe quelle matière grasse : c'est la partie hydrophobe ou lipophile de la molécule.



-SCHEMA DE LA COMPOSITION DE LA LECITHINE-

i. *L'effet d'un émulsifiant*

Un tensioactif peut aussi être choisi par son HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance). Celui-ci est un terme inventé par le chimiste William Griffin et une mesure qui permettrait de classer les émulsifiants donnant l'émulsion la plus stable. Une molécule se voit attribuer une valeur HLB en fonction de l'importance relative en masse de son pôle hydrophile par rapport à son pôle lipophile : le HLB est donc lié à la solubilité de la molécule[3].Cette classification se fait de plusieurs manières. Pour les composes ioniques, on peut se baser sur la méthode de Davies qui propose de donner un « pouvoir » hydrophile ou hydrophobe selon les groupements présents dans une molécule. On remarque que la présence d'azote participe au caractère hydrophile.

GROUPEMENT HYDROPHILE	NOMBRE DU GROUPE	GROUPEMENT HYDROPHOBE	NOMBRE DU GROUPE
$-SO_4^- Na^+$	38,7	-CH=	0,475
$(CH_3)_3N^+ Cl^-$	22,0	$-CH_2-$	0,475
$-COO^- H^+$	21,2	$-CH_3$	0,475
$-NH_3^+ Cl^-$	20,0	$-CH-CH_2-O-$ CH_3	0,125
$-NH_2$ ou >NH	9,4		
Ester de sorbitane	6,8		
Ester de glycérol	5,25		
-COOH	2,1		
-OH	1,9		
-O-	1,3		
$-(CH_2-CH_2-O)-$	0,33		

42 Contribution des groupements hydrophiles ou hydrophobes pour le calcul du HLB selon Davies

Le prochain paramètre à observer est la stabilité de l'émulsion. La stabilité d'une émulsion peut être observée surtout au cours du temps. Lorsque la barrière crée par l'émulsifiant et qui relie les deux parties

[3] Extrait de : Opérations unitaires en génie biologique. 1. Les émulsions

(hydrophile et lipophile), sous forme de micelle[4] commence à se désintégrer, les molécules d'huile (dans ce cas-ci) vont essayer de se réunir entre elles : c'est le principe de la coalescence. Plus précisément, la micelle est une goutte d'huile enrobée par les molécules d'émulsifiant (la lécithine dans ce cas-ci). C'est la partie hydrophobe de la molécule qui se chargera de lier la goutte d'huile à l'eau qui se trouve tout autour. Le tensioactif crée ainsi une membrane entre les deux phases.

Dans notre mélange on a observé que, au cours du temps, plus de gouttelettes d'huile se formaient. Nous avons laissé notre mélange pendant un jour et on a pu observer la formation de quelques gouttelettes d'huile. C'est pour cela qu'on peut donc dire que le mélange huile, eau et lécithine est un mélange laiteux et instable et on peut donc déduire que le HLB de la lécithine se trouve entre 6 et 8.

C'est surtout à cause de son caractère amphiphile (une partie lipophile et une partie hydrophile) qui permet que la lécithine puisse travailler comme agent de surface dans n'importe laquelle des deux phases. De plus, en utilisant un émulsifiant comme la lécithine, la quantité d'énergie mécanique nécessaire diminue considérablement comme le montre le tableau suivant :

	Énergie (mJ/m^2)
Huile/eau	50
Huile/eau + tensioactif	0,1-10

Extrait de : Opérations Unitaires en Génie Biologique, 1. LES ÉMULSIONS

Nous pouvons donc dire que l'émulsifiant aide bien à donner une durée de vie plus longue à l'émulsion. Néanmoins, selon l'adéquation entre le HLB, et les phases en présence, l'émulsion sera plus ou moins stable au cours du temps, c'est-à-dire, que les micelles formées lors de l'agitation du mélange vont se défaire plus ou moins facilement.

Apres avoir réalisé les expériences du mélange de l'huile dans l'eau, nous avons remarqué la présence d'une mousse à la surface du mélange, ce qui nous a emmené à nous interroger sur la formation de ces mousses.

d) Les mousses

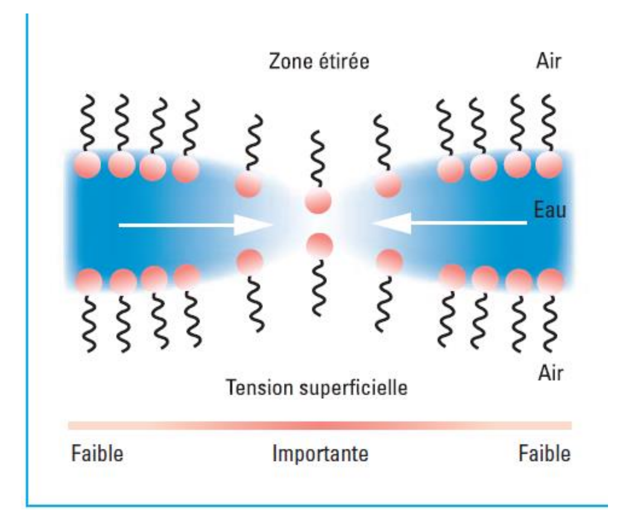
A la différence d'une émulsion, une mousse est un gaz dispersé dans un liquide ou dans un solide. Il y a deux types de mousses : celles qui sont liquides (ou humides) où la matière liquide comme l'eau s'écoule entre les bulle d'air, c'est le cas du savon, et les mousses solides (ou sèches) qui maintiennent une structure plus ou moins rigide, comme par exemple les mousses polyuréthanes ou métalliques.

[4] Micelle: Agrégat sphéroïdal de molécules possédant une tête polaire hydrophile dirigée vers le solvant et une chaîne hydrophobe dirigée vers l'intérieur.

Dans la nature, une mousse n'est pas stable parce que la présence du gaz est tellement importante par rapport à la matière liquide que les bulles d'air finissent par se casser lorsqu'elles rentrent en contact les unes avec les autres.

i. Rôle d'un émulsifiant

Le rôle des tensioactifs (ou surfactifs) est essentiel dans la durée de vie d'une mousse. Ils sont chargés de la formation et de la stabilisation des mousses. En ce qui concerne la fabrication d'une mousse, la présence des tensioactifs vont diminuer la tension superficielle pour former des bulles.



Ces dernières vont monter à la surface où les films liquides sont soumis à des forts étirements. Dans ce point, la concentration de tensioactifs diminue. Par conséquent, l'augmentation de la tension superficielle dans la zone étirée va s'opposer à la tension de la « zone voisine ».

On parle de gradient de tension superficielle : le liquide passe des zones « légères » à celles de forte tension. Cet effet est connu comme Gibbs-Marangoni (représenté en haut). Les films deviennent alors élastiques et les mousses sont donc stables.

ii. Effet du tensioactif

Nous avons fait une expérience consistant à faire monter des blancs d'œuf en neige. Sans aucun additif, sous l'action mécanique d'un batteur électrique, quelques minutes suffisent pour obtenir une mousse ferme et immobile. En ce qui concerne la tenue de la mousse, après deux heures il n'y a pas de changement d'apparence de la mousse. En effet, la bonne formation et la stabilisation de la mousse est due à l'action d'une protéine appelée ovalbumine qui fonctionne comme tensioactif. L'ovalbumine possède des propriétés hydrophile (liaison d'hydrogène à un atome électronégatif) et hydrophobe (molécules qui ne peuvent pas former des liaisons hydrogènes). En effet, cette protéine se déroule à la manière d'un fouet (cohésion de l'air et de l'eau) pour former un film, on dit qu'elles subissent une dénaturation. Ce film sera présent dans l'eau qui entoure la bulle d'air.

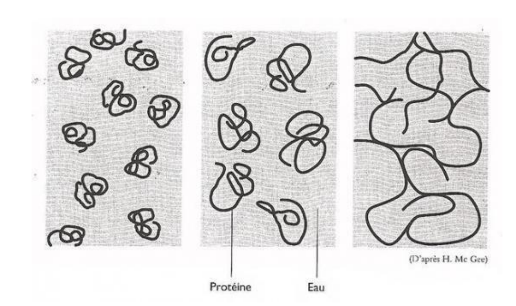


Schéma de la dénaturation

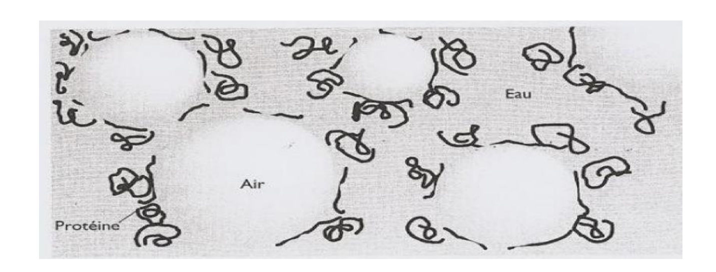
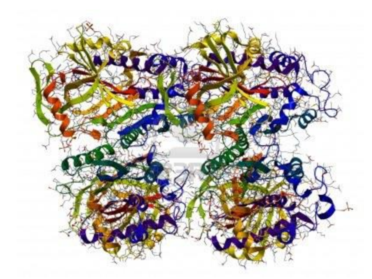


Schéma de la mousse

Le blanc d'œuf est constitué 10% de protéines dont la principale est la ovalbumine qui assure la fabrication de la mousse. Les 90% d'eau restants limitent à un certain volume la montée de la mousse, mais ceci n'est pas un problème car si on souhaite avoir plus de mousse il suffit d'ajouter de l'eau progressivement par petites quantités.



Structure moléculaire réelle de l'ovalbumine (on voit bien les enroulements des chaînes moléculaires)

iii.. Effet des différents paramètres

Pour cette expérience, nous avons battu le blanc d'œuf au point de neige. Tout d'abord on a fixé deux températures différentes et on a fait varier des conditions différentes comme la présence ou absence de sel ou jus de citron afin d'observer le temps nécessaire pour obtenir le blanc en neige ferme et statique.

T = 22,5 °C

Masse de sel (g)	---	0.4	---	0.4
Volume de citron (ml)	---	---	10	1
Temps de montée (min)	4 :00	4 :30	8 :30	8 :30

T = 4,0 °C

Masse de sel (g)	---	0.5	---	0.5
Volume de citron (ml)	---	---	25	25
Temps de montée (min)	1 :00	1 :30	4 :00	6 :02

On peut donc dire d'une part que si le blanc d'œuf est mis au froid, la durée de montée diminue. Une explication possible serait que les protéines d'ovalbumine vont se dérouler plus facilement.

D’autre part, la présence de sel et jus de citron n’accélèrent pas le processus de montée comme suggéré dans beaucoup d’ouvrages de cuisine. D’après les résultats expérimentaux, au contraire ils auraient tendance à le ralentir.

Néanmoins, le sel ainsi que le citron ont peut-être une influence sur la tenue et non pas sur la vitesse de fabrication. En ce qui concerne le sel, une fois dissout dans le blanc d'œuf les ions Na^+ peuvent stabiliser les zones hydrophiles de la molécule d'ovalbumine puis les ions Cl^- rejoignent conjointement les parties hydrophobes. La polarisation entre la partie hydrophobe et hydrophile est plus prononcée ce qui peut donner peut-être une mousse plus fermée. Le jus de citron agirait de la même manière en libérant des ions H^+.

On pourrait dans un prolongement s'interroger alors sur l'influence du sel et du citron sur la fermeté de la mousse et sa compacité, mais ce sont des grandeurs difficiles à mesurer.

III. Conclusion

La Cuisine traditionnelle s’enrichit grâce à la Chimie et à la Physique. Il est indispensable d’avoir connaissance en gastronomie ainsi qu’en Sciences pour élaborer des plats moléculaires car il y a certains additifs dont les proportions sont à respecter scrupuleusement pour un rendu optimal.

La cuisine moléculaire est tout à fait révolutionnaire. En effet, les ingrédients qui sont employés sont pour la plupart des produits biologiques, par exemple l’alginate de sodium vient des algues. Les propriétés de ces ingrédients nous permettent de jouer avec la forme ou la texture des aliments, c’est à ce moment-là que la physique entre aussi en jeu.

La cuisine moléculaire utilise des additifs et des procédés (sphérification, émulsion) qui permettent une transformation de la cuisine traditionnelle par des procédés physicochimiques. Il est très important de respecter ces procédés, ainsi que les paramètres physiques et chimiques qui y sont reliés. Ceux-ci ont un rôle fondamental sur l’élaboration de ces systèmes complexes. Comme nous avons pu l’observer, les paramètres comme le pH, le temps, la température et la quantité d’additifs déterminent la bonne formation d’une sphère (dans les conditions optimales qu’on a démontré), la montée d’une mousse ou la stabilité d’une émulsion.

Des procédés qui peuvent paraître simple en premier abord font intervenir énormément de notions de Physique et de Chimie, les champs d’étude sont très nombreux et pourraient faire l’objet de nombreux développements.

IV. Annexes

i.. Annexe 1 : Interview d'un chef

Interview avec le chef de cuisine moléculaire Ismael Osorio (Québec, Canada)

1. **Il y a combien d'années que vous êtes chef?**

Je suis chef depuis 1995 et cuisinier depuis 1990.

2. **Comment avez-vous connu la cuisine moléculaire?**

En assistant à des séminaires de ``Gastronomie Moléculaire`` animé par le scientifique Hervé This à Paris de 2003 à 2006

3. **Qu'est-ce que c'est la cuisine moléculaire pour vous?**

Pour moi, c'est une connaissance plus approfondie, plus précise, de toute forme de cuisine. Connaissances apportées par les études scientifiques de la « Gastronomie Moléculaire » qui elle est une science.

4. **Avez-vous déjà travaillé dans un restaurant de cuisine moléculaire?**

Quand je cuisine dans mes cuisines, pour différents contrats.

5. **Quelles études avez-vous suivi pour devenir chef de ce type de cuisine?**

J'ai appris en lissant les ouvrages et en assistant aux séminaires de Gastronomie Moléculaire de Hervé This. Et en en consultant les écrits de l'équipe du restaurant « EL BULLI » de Ferran Adrià

6. **Pourquoi vous vous êtes intéressé à ce type de cuisine au lieu de la cuisine traditionnelle?**

Je m'intéresse à toute forme de cuisine, en particulier à la « cuisine moléculaire » parce que elle me permet d'exprimé une créativité d'avant- garde. Parce que nous avons des connaissances validées par la science.

7. **Est-ce difficile de devenir chef de ce type de cuisine?**

Il faut juste se former en cuisine et parallèlement faire ses propres recherches en tout ce qui concerne les sciences.

ii. Annexe 2 : Tableau sur la composition, atouts et contraintes des produits

Tableau sur la composition, les atouts et les contraintes des produits utilisées en cuisine moléculaire.

Nom	Provenance	Point positif	Point négatif
E406 : L'Agar-agar	C'est un gélifiant a partir d'algues rouges. L'agar-agar est un produit de base de la cuisine moléculaire, sous forme de poudre. Il remplace idéalement la gélatine animale	-Favorise la digestion -Produit biologique	-Effet laxatif -En grand nombre provoque des ballonnements
E407 : Carraghénane	Le carraghénane est un produit, comme l'agar-agar obtenu à partir d'algues rouges. Les propriétés sont les même que le produit ci-dessus.	-Favorise la digestion -Produit biologique	-Effet laxatif -la paroi intestinale de l'enfant peut être endommagée - Il peut déclencher des allergies
E327 : Lactate de calcium	C'est un acide naturel produit par des bactéries dans la nourriture fermentée. Ces derniers sont très riches en acide lactique. C'est un conservateur et un anti-oxydant.	-diminue l'acidité -Produit biologique	-Peut causer des troupes chez le nourrisson - Retarde le système digestif de l'adulte
E401 Alginate de sodium	L'alginate de sodium est un produit utilisé dans les boissons. Il est utilisé comme émulsifiant ou gélifiant. Il sert également de produit « coupe-faim »dans certains produits.	-produit biologique -facilite la digestion	- Effet laxatif

iii. Annexe 3 : Additifs alimentaires

Ingrédients (Additifs Alimentaires)

En cuisine moléculaire, mis à part l'utilisation d'ingrédients comme les fruits, les légumes, les viandes et produits laitiers, d'autres produits entrent en action : ce sont des additifs alimentaires. Par définition, les additifs alimentaires sont « des substances ajoutées en faibles quantités aux aliments industriels pour en améliorer la saveur, la texture et l'apparence ». Ils peuvent être des produits naturels ou des produits synthétiques. En ce qui concerne la cuisine moléculaire, la plupart d'additifs sont naturels. Ils sont aussi soumis à de nombreuses critiques car on les croit dangereux pour la santé même s'ils sont autorisés par une norme (Norme général Codex). Ils sont un de type «Exxx ». Voici une liste des différents additifs alimentaires qui existent en cuisine moléculaire :

- <u>Lactate de Calcium : E327</u>

Le Lactate de calcium est un sel minéral dérivé de l'acide lactique. Il est naturellement présent dans certains les aliments comme par exemple des aliments fermentés (les laitiers) ou même dans quelques poissons comme les sardines. Il est utilisé dans le procédé de sphérification afin de créer des perles, des billes ou de ravioles. Il agit en présence de l'alginate de sodium.

Structure du lactate de calcium

Formule Brute $C_6H_{1}0CaO$

<u>Alginate de Sodium: E401</u>

L'alginate de Sodium est un sel extrait de la paroi cellulaire d'algues brunes. C'est un gélifiant utilisé plus particulièrement dans la cuisine moléculaire pour fabriquer des perles de caviar ou de ravioles. L'alginate en contact avec le lactate de calcium (un additif également) agit en formant un gel. Ceci, à différence de l'agar-agar, s'effectue à froid. Cet additif n'a pas que des propriétés de gélification, il a également des applications dans le domaine de l'industrie et de la santé.

iv. Annexe 4 : Schéma d'une protéine d'ovalbumine.

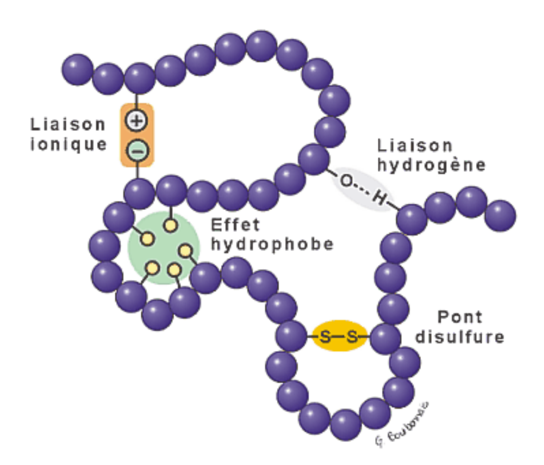


Schéma d'une protéine d'ovalbumine

V. Bibliographie et sitographie

Camille DELNAUD et Cédric EMONNEAU, TPE gastronomie moléculaire, 2011-2012, http://tpehttp://tpe-gastronomie-moleculaire.olympe.in/gastronomie-moleculaire.olympe.in

La tercera, ¿Qué es la cocina molecular?, 23/10/2012, www.youtube.com/watch?v=uxE8niEYeKs

Factor Ciencia, La ciencia de la cocina molecular, 14/01/2013, www.youtube.com/watch?v=LJg2wYUmJbg

La cuisine moléculaire, http://secrets-de-la-casserole.e-monsite.com/pages/histoire-de-la-cuisinehttp://secrets-de-la-casserole.e-monsite.com/pages/histoire-de-la-cuisine-moleculaire.htmlmoleculaire.html

La cuisine moléculaire, https://sites.google.com/site/tpecuisinemoleculaire1s1/moleculaire-vshttps://sites.google.com/site/tpecuisinemoleculaire1s1/moleculaire-vs-traditionnelle/consquences-financirestraditionnelle/consquences-financires

Heston's Victorian Feast, http://www.youtube.com/watch?v=ReTY47jq3co

Molécule-R, http://molecule-r.com/fr/content/7-definition-de-cuisine-moleculaire

Texturas, Albert y Ferran Adria, http://www.albertyferranadria.com/fra/texturashttp://www.albertyferranadria.com/fra/texturas-spherification.htmlspherification.html

Marie Romane, http://constance-marine-romane.e-monsite.com/pages/les-molecules-entrent-enhttp://constance-marine-romane.e-monsite.com/pages/les-molecules-entrent-en-jeu/les-techniques/la-gelification.htmljeu/les-techniques/la-gelification.html

La cuisine moléculaire, http://constance-marine-romane.e-monsite.com/pages/les-moleculeshttp://constance-marine-romane.e-monsite.com/pages/les-molecules-entrent-en-jeu/les-techniques/la-gelification.htmlentrent-en-jeu/les-techniques/la-gelification.html

TPE cuisine moléculaire, http://tpe-cuisinemoleculaire.sup.fr/

Opérations unitaires en génie biologique. 1. Les émulsions http://www.cndp.fr/crdphttp://www.cndp.fr/crdp-paris/Operations-unitaires-en-genieparis/Operations-unitaires-en-genie (Post Bac)